Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics, 35, 3, 2023. (65-74)

Ferdowsi University of Mashhad

Journal of Applied and Computational Sciences in Mechanics

Page Journal: mechanic-ferdowsi.um.ac.ir

Society of Manufacturing Engineering of Iran

Investigating the Effects of CNC Milling Machine Parameters and Machining Tool Specifications on Surface Roughness of Wooden Products

Research Article

Saeed Yaghoubi[1], Farshad Rabiei [2]

DOI: 10.22067/jacsm.2023.81172.1167

1. Introduction

Wood and wood-based materials have numerous applications due to their low cost, high strength and low energy consumption. In the production of wooden parts and tools, such operations as drilling, cutting and engraving are the main parts of the work, which have been performed manually by skilled craftsmen since ancient times. Nowadays, computer numerical control (CNC) process is a dominant operation in the machining industries. CNC machines are widely employed in different manufacturing processes such as plastic cutting, steel machining and wood working industries. Computer numerical control operation is strictly reined via software program and needs limited human interaction aside from initial setup and data feeding. Moreover, CNC machines are employed for exact speed and positioning control. For this reason, CNC machine is capable to manufacture complex geometries using various substances.

In order to enhance the quality of CNC machining, several criteria such as machining forces, accuracy, and surface roughness can be introduced. One of the main factors that have been investigated by many researchers is surface quality of the product. This criterion is remarkable in finishing processes of products. For this purpose, this current research examines the impact of machining parameters (feed speed, rotational speed, and step over) and tool parameters (diameter, number of cutting edge, and type of cutting edge) on the surface roughness of beech wood.

2. Experimental procedures

A 3-axis CNC machine with 6 KW spindle power and spindle speed of 32,000 rpm is used to investigate the impacts of several parameters on surface quality of wooden product. Figure 1 shows the wood CNC machine employed in this study.



Figure 1. Numerical control milling machine in the present study

The material used in this research is Beech wood with a thickness of 18 mm. It should be mentioned that the cut depth was fixed and considered to be 3 mm. Tideway brand machining tools with diameters of 3 mm, 4 mm, and 6 mm for milling operation of wood workpiece were used. To measure surface roughness of specimen, Time 3110 portable roughness meter was employed.

*Manuscript received: February 16, 2023, Revised, March 7, 2023, Accepted, April 4, 2022.

[1]. Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ilam University, Ilam, Iran.

[2] Corresponding author.Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ilam University, Ilam, Iran.

Email: F.rabiei@ilam.ac.ir

3. Results and discussion

Figure 2 shows changes in surface roughness versus variations in tool diameter for three different types of tools (single spiral, double spiral, and straight double). This diagram shows that the surface roughness value increases with the enhancing of the tool diameter. This parameter has the maximum value for straight two-point tools and the minimum value for spiral two-point tools.

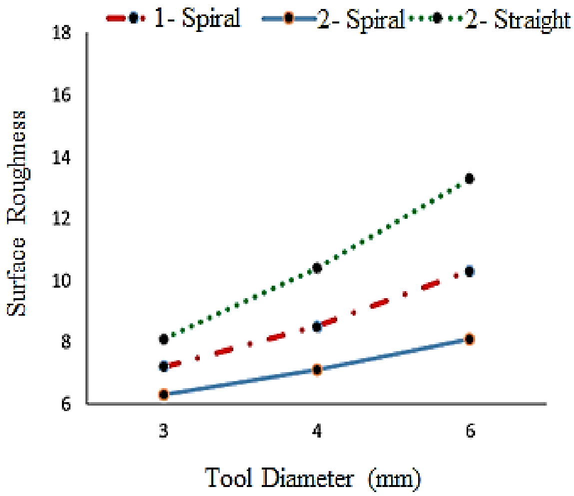


Figure 2. Surface roughness changes in relation to different conditions

4. Conclusion

This study deals with the effects of machining and tool parameters on surface roughness of beech wood. A summary of the results is as follows:

1. A tool with a double-edged spiral creates a better surface quality than a single-edged spiral tool and leads to the improvement of machining conditions;
2. By increasing the feed speed from 20 to 60 (mm/min), especially in tools with a larger diameter, the machining conditions tend towards instability and the surface roughness increases.

علوم کاربردی و محاسباتی در مکانیک

http://mechanic-ferdowsi.um.ac.ir

انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران

دانشگاه فردوسی مشهد

بررسی اثر پارامترهای دستگاه فرز CNC و مشخصات ابزار ماشین‌کاری بر زبری سطح محصولات چوبی *

مقاله پژوهشی

سعید یعقوبی (۱) فرشاد ربیعی (۲)

DOI: 10.22067/jacsm.2023.81172.1167

چکیده *امروزه محصول‌های چوبی به وفور در صنعت مبلمان، تابلوهای هنری، ظروف چوبی و غیره گسترش یافته است. روش‌های تولید سنتی و دستی تولید این محصول‌ها توان رقابت با روش‌های تولید مکانیزه، خصوصا ماشین‌های کنترل عددی را ندارند. از این‌رو، استفاده از این دستگاه‌ها همواره در حال افزایش است. با این وجود، یکی از پارامترهایی که سرعت تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد، زبری‌سطح بوده و کارگاه‌ها مجبور به صرف زمان زیاد برای سنباده‌زنی و پرزگیری محصول هستند. به‌همین منظور و در تحقیق حاضر، تأثیر پارامترهای ماشین (سرعت پیشروی، سرعت دورانی و گام عرضی) و پارامترهای ابزار (قطر، تعداد لبه برشی و نوع لبه برشی) بر روی زبری سطح چوب راش مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش نشان داد که ابزارهای با لبه برشی دو پر مارپیچ، نسبت به ابزارهای با لبه برشی مستقیم و یک پر مارپیچ، زبری سطح مطلوب‌تری دارند و ابزارهای با لبه مستقیم برای چوب راش مناسب نیستند. همچنین، مشاهده شد با کاهش گام عرضی از 0.7D به 0.3D (D قطر ابزار است)، زبری سطح کمتری ایجاد می‌شود. با کاهش قطر ابزار از ۶ به ۴ و ۳ میلی‌متر، کاهش سرعت پیشروی از ۶۰ به ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه و افزایش سرعت دورانی از ۱۵۰۰۰ به ۲۵۰۰۰ دور بر دقیقه، زبری سطح محصول نهایی به‌صورت قابل توجهی کاهش پیدا نمود.*

واژه‌های کلیدی فرزکاری CNC، مصنوعات چوبی، تعداد لبه برشی، گام عرضی، سرعت پیشروی، سرعت دورانی.

Investigating the Effects of CNC Milling Machine Parameters and Machining Tool Specifications on Surface Roughness of Wooden Products

Saeed Yaghoubi Farshad Rabiei

Abstract *Today, wooden products are widely spread in the industry of furniture, art boards, wooden dishes, etc. The traditional and manual manufacturing methods of producing these artefacts cannot compete with mechanized production methods, especially computer numerical control (CNC) machines. Therefore, using of these devices is always increasing. Nevertheless, one of the parameters that affect the production speed is the surface roughness, and the workshops have to spend a lot of time on polishing the products. For this reason, in the present research, the effect of machine parameters (feed speed, rotational speed and transverse step) and tool characteristics (diameter, number of cutting edge and type of cutting edge) on surface roughness of beech wood has been investigated. The outcomes demonstrated that cutting tools with two spiral cutting edges have a more favorable surface roughness than cutting tools with a straight cutting edge and one spiral cutting edge, and tools with a straight edge are not suitable for beech wood. It was also observed that by reducing the transverse step from 0.7D to 0.3D, a lower surface roughness is created. By reducing the tool diameter from 6 to 4 and 3 (mm), reducing the feed speed from 60 to 20 (mm/min) and increasing the rotational speed from 15000 to 25000 (rpm), the surface roughness of final product was improved, significantly.*

Key Words CNC Milling, Wooden Products, Cutting Edges Number, Step Over, Feed Speed, Rotational Speed.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۱/۱۱/۲۷و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۱/۱/۱۴ می‌باشد.

(۱)استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

(۲) نویسنده مسئول: استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

Email: F.rabiei@ilam.ac.ir

مقدمه

به واسطه در دسترس بودن چوب برای جوامع بشری، فراوری چوب و چوب‌تراشی یکی از قدیمی‌ترین صنایع تولیدی بوده است که در سازه‌ها، مبلمان، ظروف و نیز آلات موسیقی مورد استفاده قرار گرفته است [1].

با پیشرفت علم و ورود ماشین‌های ابزار به صنایع مختلف، از این تجهیزات در صنایع چوبی هم استفاده شد. در ادامه و جهت تسلط بر بازار، می‌بایست محصولات با شکل سه‌بعدی و پیچیده و با سرعت و دقت بیشتر تولید می‌شد. از این‌رو ماشین-های ابزار با کنترل عددی کامپیوتری (Computer Numerical Control = CNC) رفته رفته جایگزین ماشین‌های ابزار سنتی شدند. این ماشین‌آلات، با استفاده از موتورهای استپ یا سروو قابلیت حرکت در چند محور به‌صورت کنترل شده را دارا بوده و از این‌رو قابلیت تولید شکل‌های پیچیده را دارند و تا حدود زیادی ساخت و تولید محصولات چوبی را تسهیل کرده‌اند. این دستگاه‌ها خصوصا برای تولید مصنوعات با شکل پیچیده و سه-بعدی، باعث کاهش هزینه‌های تولید، کاهش زمان تولید و نیز بهبود کیفیت سطح می‌شوند. راجا و باسکار گزارش داده‌اند که استفاده از دستگاه‌های کنترل عددی در صنعت مبلمان‌سازی باعث کاهش زمان‌های اتلافی و متعاقبا افزایش 2.5 برابری بهره‌وری شده است [2]. سوتسو و همکاران نیز کاهش هزینه‌های کارگری و بهبود کیفیت سطح را از نتایج استفاده از دستگاه‌های کنترل عددی در صنعت چوب دانسته‌اند [3].

یکی از اصلی‌ترین پارامترهایی که در تولید مصنوعات چوبی مورد توجه قرار می‌گیرد، کیفیت سطح محصول است؛ چراکه به شدت بر روی کیفیت مراحل پرداخت‌کاری نظیر پوشش‌دهی و رنگ‌کاری تأثیرگذار است. از سوی دیگر، هر چه کیفیت سطح محصول بعد از ماشین‌کاری بهتر باشد، زمان لازم برای عملیات‌های سنباده‌زنی و پرزگیری کاهش یافته و بهره‌وری مجموعه افزایش می‌یابد. باید توجه داشت که بسیاری از مصنوعات هنری در صنایع مبلمان و تابلوهای هنری به‌صورت سه‌بعدی بوده و سنباده‌زنی و پرزگیری نهایی می-بایست بسیار با دقت انجام شود که منجر به آسیب نشود (شکل ۱). از این‌رو، کیفیت سطح محصولاتی که از فرایند کنترل عددی تولید می‌شوند به‌صورت مستقیم بر روی زمان تولید نهایی، هزینه‌ای کارگری، کیفیت نهایی و عملیات‌های پرداخت نهایی (پوشش‌دهی و رنگ‌کاری) تأثیرگذار است [4].


شکل ۱ یک تابلو چوبی ایجاد شده به وسیله فرز کنترل عددی

یکی از روش‌هایی که بررسی کمی و عددی کیفیت سطح را ممکن می‌سازد، اندازه‌گیری زبری‌سطح است. تحقیقات محدودی به‌صورت تجربی و آماری خصوصا در چند سال گذشته در سطح کشوری و حتی جهانی در مورد پارامترهای موثر در این زمینه صورت گرفته است و عمدتا تحقیقات در زمینه چوب‌های بومی کشور نگارنده مقاله انجام پذیرفته است [5-8]. هزیر و همکاران گزارش دادند که بسیاری از مشکلات مصنوعات چوبی ناشی از انتخاب نامناسب پارامترها بوده و انتخاب بهینه پارامترها جهت دستیابی به کیفیت سطح بهتر ضروری است [9]. آقاخانی و همکاران تأثیر پارامترهای ماشین‌کاری در فرزکاری چوب پالونیا را مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش دادند که افزایش سرعت برشی باعث کاهش زبری‌سطح و بهبود کیفیت سطح می‌شود [10].

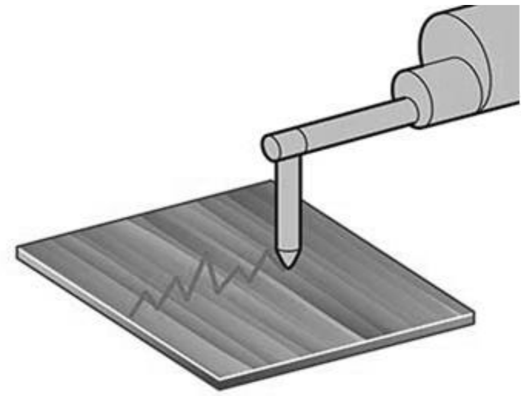
امروزه در صنعت چوب ایران، انتخاب پارامترهای ماشین‌کاری و پارامترهای موثر بر کیفیت سطح عمدتا بر اساس تجربه اپراتور بوده و منابع علمی بسیار محدودی در این زمینه وجود دارد. از این‌رو و در تحقیق حاضر، با توجه به اشتغال نگارنده در تولید مصنوعات چوبی و کمبود منابع علمی در زمینه ماشین‌کاری کنترل عددی موجود در کشور سعی شده است به‌صورت علمی تأثیر پارامترهای ماشین و مشخصه‌های ابزار بر روی کیفیت سطح چوب راش که رایج‌ترین چوب مورد استفاده در صنعت ایران است مورد بررسی قرار گیرد.

زبری سطح

زبری سطح در صنایع چوبی با مقیاس Ra اندازه‌گیری می‌شود که نشان‌دهنده میانگین ارتفاع‌های زبری سطح است.

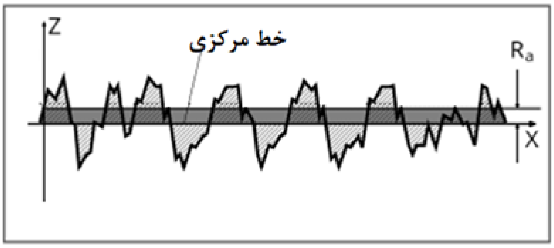
شکل (۲) نحوه انجام تست زبری را نشان می‌دهد که پروب

دستگاه زبری سنج، ۸ میلی‌متر از سطح نمونه را طی و جاروب می کند.



شکل ۲ نحوه اندازه‌گیری زبری سطح

در این مسافت پستی و بلندی‌هایی وجود دارد که با اندازه‌گیری آن‌ها مقدار زبری سطح محاسبه می‌گردد. اگر پراکندگی پستی و بلندی‌ها مشابه شکل (۳) باشد خط مرکزی به گونه‌ای تعریف می‌شود که مجموع مساحت‌های شکل‌ها بالای خط با مجموع مساحت‌های پایین خط برابر باشند. این مقدار را می‌توان با مساحت یک مستطیل برابر گرفت که مقدار عرض آن مقدار زبری سطح را نشان می‌دهد.



شکل ۳ شماتیک زبری سطح، خط مرکزی و مفهوم زبری سطح

شرایط آزمایشگاهی

برای انجام تست‌های تجربی چوب راش صنعتی مورد استفاده قرار گرفت. تمامی نمونه ها به مدت یک ماه در دستگاه خشک کن قرار گرفتند و به رطوبت نسبی ۱۰ درصد رسیدند. ابعاد نمونه‌ها ۴ در ۶ سانتی‌متر هستند (که از ضایعات مراحل قبلی تولید ایجاد شده‌اند) (شکل ۴).

از دستگاه فرز کنترل عددی سه محور ساخت شرکت سپنتا ایران دارای اسپیندل 6 کیلووات و سرعت دورانی 32 هزار دور بر دقیقه جهت انجام تست‌های تجربی استفاده شد (شکل ۵).



شکل ۴ نمونه های چوب راش مورد استفاده



شکل ۵ دستگاه فرزکاری کنترل عددی مورد استفاده

در انجام تمامی آزمایش‌ها، جهت ایجاد شرایط یکسان، ماشین‌کاری در جهت "راه چوب" انجام گرفت (شکل ۶).



شکل ۶ مفهوم راه چوب

در تمامی تست‌ها، عمق برش ثابت و برابر ۳ میلی‌متر درنظر گرفته شد. ابزار مسیری با عرض ۲۰ میلی‌متر در طول ۶۰ میلی‌متر را فرزکاری می کند. برای انجام تست‌ها از ۹ ابزار برند Tideway ساخت ترکیه استفاده شده است. این ابزارها دارای قطرهای ۳، ۴ و ۶ میلی‌متر بوده و در سه نوع دوپر مارپیچ، تک پر مارپیچ، و دو پر مستقیم مورد استفاده قرار گرفته‌اند (شکل ۷).

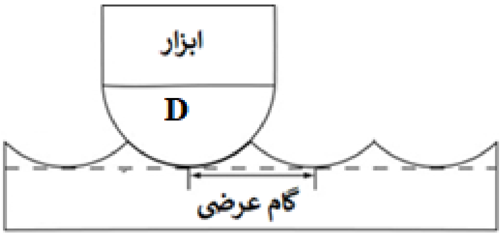


شکل ۷ ابزارهای ۶ میلی‌متر به ترتیب از راست به چپ: دوپر مارپیچ، تک‌پر مارپیچ، دو پر مستقیم

در تست‌ها از پارامتر گام عرضی استفاده شده است که به‌صورت درصدی از قطر ابزار (D) معرفی می‌شود (شکل ۸).

برای اندازه‌گیری زبری‌سطح از دستگاه زبری‌سنج پرتابل Time 3110 استفاده شد (شکل ۹). برای هر نمونه، ۵ بار تست زبری‌سطح با طول جاروب ۸ میلی‌متر انجام شد و پس از حذف داده‌های پرت، میانگین داده‌ها به عنوان زبری‌سطح ثبت گردید.

برای بررسی تأثیرات شش پارامتر مورد مطالعه بر روی زبری سطح، انجام تست‌ها در چهار مرحله و به‌صورت فول فاکتوریل مطابق جدول (۱) انجام گرفت.



شکل ۸ شماتیک مفهوم گام عرضی



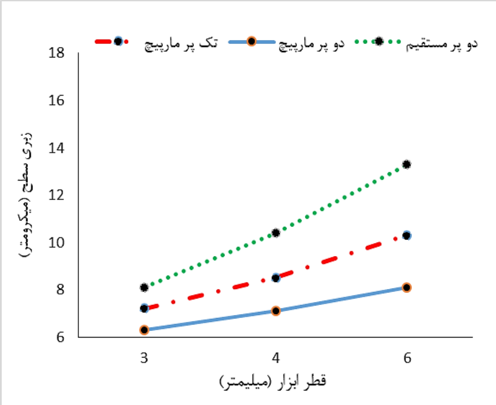
شکل ۹ دستگاه زبری سنج مورد استفاده

جدول ۱ روند انجام تست‌های تجربی و پارامترهای مورد استفاده

مراحل	پارامترهای مورد استفاده
مرحله اول	
عمق برش	۳ میلی‌متر
سرعت پیشروی	۲۰ و ۶۰ میلی‌متر بر دقیقه
سرعت دورانی	۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه
گام عرضی	0.5D (نصف قطر ابزار در هر مرحله)
قطر ابزار (D)	۳، ۴ و ۶ میلی‌متر
شکل تیغه ابزار	تک پر مارپیچ، دو پر مارپیچ، دو پر مستقیم
مرحله دوم	
عمق برش	۳ میلی‌متر
سرعت پیشروی	۴۰ میلی‌متر بر دقیقه
سرعت دورانی	۱۵۰۰۰ و ۲۵۰۰۰ دور بر دقیقه
گام عرضی	0.5D (نصف قطر ابزار در هر مرحله)
قطر ابزار	۳، ۴ و ۶ میلی‌متر
شکل تیغه ابزار	تک پر مارپیچ، دو پر مارپیچ، دو پر مستقیم
مرحله سوم	
عمق برش	۳ میلی‌متر
سرعت پیشروی	۴۰ میلی‌متر بر دقیقه
سرعت دورانی	۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه
گام عرضی	0.3D و 0.7D
قطر ابزار	۳، ۴ و ۶ میلی‌متر
شکل تیغه ابزار	تک پر مارپیچ، دو پر مارپیچ، دو پر مستقیم
مرحله چهارم	انتخاب پارامترهای بهینه

نتایج و بحث

شکل (۱۰) تغییرات زبری‌سطح نسبت به تغییرات قطر ابزار را برای سه نوع ابزار مختلف (تک‌پر مارپیچ، دو پر مارپیچ و دو پر مستقیم) نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که با افزایش قطر ابزار، مقدار زبری‌سطح افزایش می‌یابد و این پارامتر برای ابزارهای دو پر مستقیم دارای بیشینه مقدار و برای ابزارهای دو پر مارپیچ دارای کمینه مقدار است. علت این امر را می‌توان به تغییرات نیرو و ارتعاش در ابزار نسبت داد. با افزایش قطر ابزار، مساحت درگیر ابزار با قطعه‌کار افزایش می‌یابد و اسپیندل نیروی بیشتری برای برش نیاز دارد. این نیرو از ابزار به چوب وارد شده و عکس‌العمل آن از چوب به ابزار وارد می‌شود. این افزایش نیرو باعث لرزش و ارتعاش ابزار شده و منجر به افزایش زبری‌سطح می‌شود.

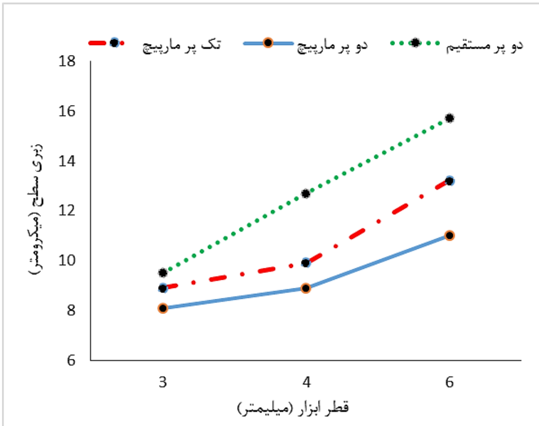


شکل ۱۰ تغییرات زبری سطح نسبت به قطر و شکل‌ها مختلف ابزار، عمق برش ۳ میلی‌متر، سرعت پیشروی ابزار ۲۰ میلی‌متر بر ثانیه، سرعت دورانی ۲۰۰۰ دور بر دقیقه، گام عرضی 0.5D

ابزارهای دو پر مارپیچ نسبت به ابزارهای دو پر مستقیم و نیز تک‌پر مارپیچ دارای بهترین صافی سطح در تمامی قطرهای ۳، ۴ و ۶ میلی‌متر هستند. این مشاهده را می‌توان به میزان باربرداری هر لبه برشی نسبت داد. هر لبه ابزار دو پر مارپیچ در هر دوران ابزار، به میزان ۱۸۰ درجه با چوب درگیر است و ۱۸۰ درجه دوم لبه دوم درگیر می‌شود و برای یک حجم ثابت براده‌برداری، هر لبه براده‌برداری نصف این حجم را بر عهده دارد؛ در حالی‌که در ابزار تک‌پر مارپیچ، تمامی حجم براده‌برداری فقط توسط یک لبه برداشته می‌شود. با ثابت بودن سرعت دورانی مشخص می‌شود که به ازای هر دور چرخش ابزار، ابزار دو پر مارپیچ، نیروی کمتری را متحمل می‌شود. از این‌رو می‌توان انتظار داشت که عملکرد ماشین‌کاری بهبود یابد و با کاهش نیرو و متعاقبا لرزش و ارتعاش، سطح با کیفیت‌تری از منظر زبری‌سطح تولید شود. از سوی دیگر این شکل تأثیر شکل لبه برشی بر زبری‌سطح را نیز نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که ابزار دو پر مستقیم علی‌رغم داشتن دو لبه برشی دارای نامطلوب‌ترین کیفیت سطح است. با بررسی شکل لبه‌های برشی می‌توان به علت این مسأله پی برد. در ابزارهای مارپیچ، لبه برشی به‌صورت پیوسته و رفته رفته و به آرامی وارد قطعه‌کار می‌شود که منجر به افزایش طول درگیری لبه ابزار و قطعه‌کار می‌شود؛ در حالی‌که در ابزار با لبه مستقیم، به یک‌باره تمام لبه برشی (به اندازه ۳ میلی‌متر عمق برش) با قطعه‌کار درگیر می‌شود و این تماس در تمام طول مسیر برش ادامه دارد که منجر به تشدید نیروها و شرایط نامناسب ماشین‌کاری می‌گردد. لذا،

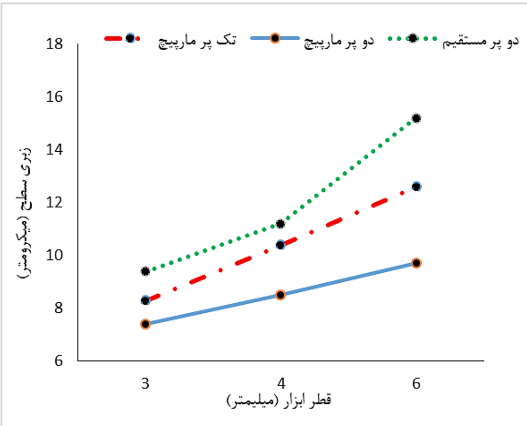
ایـن ابزارهـا در تمـامی قطرهـای ۳، ۴ و ۶ میلـی‌متـر دارای نامطلوب‌ترین نتایج زبری‌سطح هستند. به نظر می‌رسد با توجـه بـه ماهیـت پیوسـته و رشـته‌ای مـواد در سـاختار چـوب راش، استفاده از ابزارهای با لبه مستقیم مناسب نباشد.

در شکل (۱۱) تغییرات برای سرعت پیشروی ۶۰ میلـی‌متـر بر دقیقه نشان داده شده است. با مقایسه نتایج این شکل با شکل (۱۰) که مربوط به سرعت پیشروی ۲۰ میلی‌متر بر دقیقـه اسـت تأثیر این پارامتر نیز مشخص می‌شود. این شکل‌ها نشان می‌دهند که در شرایط یکسان، با افزایش ۳ برابری سـرعت پیشـروی در تمامی آزمایش‌ها، نتایج زبری‌سطح افزایش یافتـه اسـت. میـزان این تأثیر در تست‌های مختلـف متفـاوت بـوده و بـه انـدرکنش پارامترها وابسته است. هر چه سرعت پیشروی بیشتر شود ابـزار در زمان یکسان حجم بیشتری را براده برداری می‌کند. به عبارت دیگر، نرخ برداشت براده با افـزایش سـرعت پیشـروی و ثابـت بودن عمق برش افزایش می‌یابد. بنابراین شـرایط ماشـین‌کـاری سخت‌تر می‌شـود و ابـزار مـی‌بایسـت نیـروی بیشـتری صـرف برداشت براده کند. به‌همین دلیل، بـا افـزایش سـرعت پیشـروی لرزش ابزار بیشتر شده و زبری‌سطح نامطلوب‌تـری ایجـاد مـی-شود.



شکل ۱۱ تغییرات زبری سطح نسبت به قطر و شکل‌ها مختلف ابزار، عمق برش ۳ میلی‌متر، سرعت پیشروی ابزار ۶۰ میلی‌متر بر ثانیه، سرعت دورانی ۲۰۰۰ دور بر دقیقه، گام عرضی 0.5D

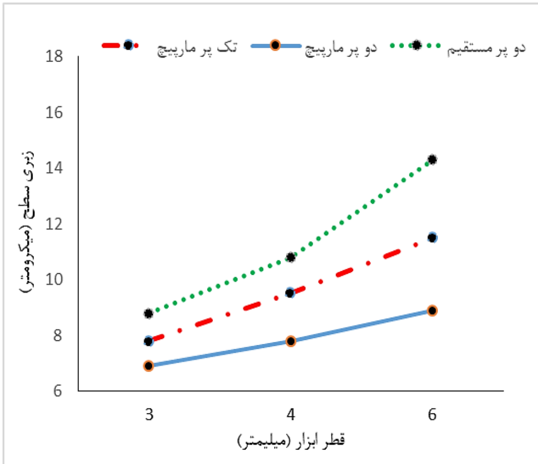
شکل‌های (۱۲) و (۱۳) تغییرات زبری سطح برای قطرهـای ابزار مختلـف و ابزارهـای بـا هندسـه مختلـف و سـرعت‌هـای دورانی متغیر نشان داده شده است. در این شـکل‌هـا هـم نتـایج کیفی مشابهی نسبت به شکل‌ها (۱۰) و (۱۱) مشاهده مـی‌شـود. به‌طور کلی، ابزار ۳ میلی‌متر دارای کمترین زبری سـطح بـوده و نیز ابزار دو پر مارپیچ بهترین کیفیت سطح را ایجاد کرده اسـت. همچنین در این تست‌ها نیز ابزار با قطر ۶ میلـی‌متـر بـا دو لبـه مستقیم دارای نامطلوب‌ترین کیفیت سطح است. بـا مقایسـه دو نمودار که برای سرعت‌هـای دورانـی ۱۵۰۰۰ و ۲۵۰۰۰ دور بـر دقیقه ترسیم شده‌اند تأثیر این پارامتر به وضوح مشـخص شـده است. با افزایش سرعت دورانی، تعداد چرخش هر لبه برشی در واحد زمان افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، با فرض ثابت بـودن سرعت پیشروی و عمق برش، ابزار در هر دوران مقدار کمتـری براده برداری می‌کند. لذا، بـا افـزایش سـرعت دورانـی شـرایط ماشین‌کاری مطلوب‌تـر شـده و نیـروی کمتـری بـه ابـزار وارد می‌شود. از سوی دیگر بـا ایجـاد بـراده‌هـای ریزتـر بـه واسـطه سرعت دورانی بیشتر، ابزار دیرتر کند شده و سـلامت سـطح را تضمین می‌کند. با افزایش عمق برش، تـأثیر ایـن پـارامتر کمتـر می‌شود و ابزار با حجم براده‌برداری بیشـتری مواجـه شـده کـه منجر به کاهش کیفیت سطح می‌شود.



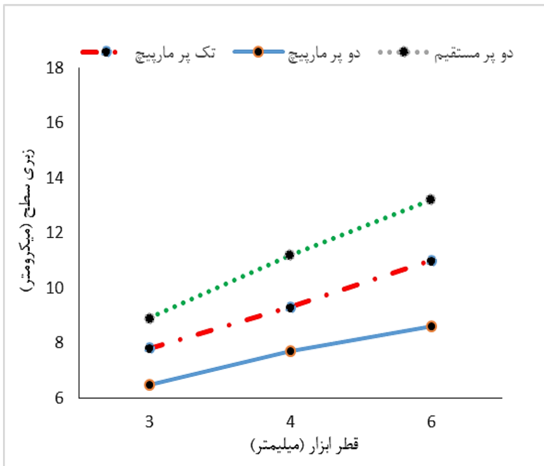
شکل ۱۲ تغییرات زبری سطح نسبت به قطر و شکل‌ها مختلف ابزار، عمق برش ۳ میلی‌متر، سرعت پیشروی ابزار ۴۰ میلی‌متر بر ثانیه، سرعت دورانی ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه، گام عرضی 0.5D

شکل‌های (۱۴) و (۱۵) تغییرات زبری‌سطح بـرای قطرهـای مختلف ابزار و سه نوع ابزار با لبه‌های برشـی متفـاوت را بـرای دو گام عرضی 0.3D و 0.7D نشان می‌دهد. بـرای مقـاطعی کـه عرض آن‌ها از قطر ابزار بیشتر اسـت ابـزار نمـی‌توانـد در یـک مرحله مقطع را براده برداری کند. از ایـن‌رو بـرای ایـن مقـاطع، پارامتر گام عرضی بـه‌صـورت درصـدی از قطـر ابـزار تعریـف می‌شود. همان‌طور که این دو شکل نشان می‌دهند، ابزار با قطـر

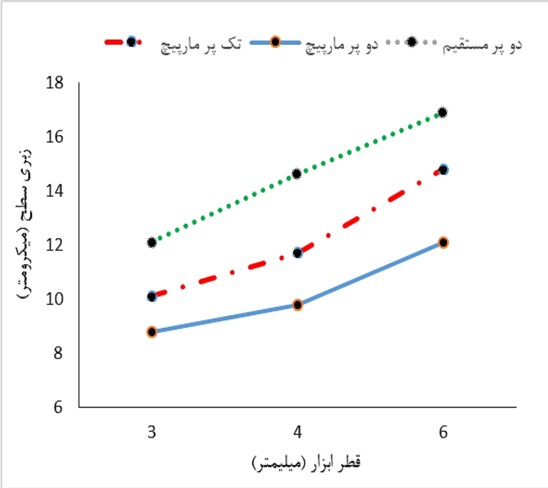
۳ میلی‌متر و دارای دو لبه برشی مارپیچ همچنـان دارای بهتـرین کیفیت سطح و ابزار ۶ میلی‌متر با دو لبه مسـتقیم دارای بـدترین کیفیت سطح است. همچنین با مقایسه دو نمودار مشـاهده مـی-شود کیفیت سطح با گام عرضی 0.3D، بـرای تمـامی تسـت‌هـا بهتر از کیفیت سطح با گام عرضی 0.7D است. در حالت کلـی، هر چه گام عرضی بیشتر باشد اگرچـه حجـم بیشـتری از مـاده برداشته شده و قطعه‌کار سریعتر ماشین‌کاری می‌شود اما کیفیـت سطح نامطلوب می‌گـردد؛ چـرا کـه ابـزار نـرخ برداشـت بـراده بیشتری دارد و مجبور است بـا حجـم بیشـتری از مـواد تمـاس داشته باشد. بنابراین نیروها افزایش می‌یابد و لرزش ایجاد شـده در ابزار باعث افزایش زبری می‌شود.



شکل ۱۳ تغییرات زبری سطح نسبت به قطر و شکل‌ها مختلف ابزار، عمق برش ۳ میلی‌متر، سرعت پیشروی ابزار ۴۰ میلی‌متر بر ثانیه، سرعت دورانی ۲۵۰۰۰ دور بر دقیقه، گام عرضی 0.5D



شکل ۱۴ تغییرات زبری سطح نسبت به قطر و شکل‌ها مختلف ابزار، عمق برش ۳ میلی‌متر، سرعت پیشروی ابزار ۴۰ میلی‌متر بر ثانیه، سرعت دورانی ۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه، گام عرضی 0.3D



شکل ۱۵ تغییرات زبری سطح نسبت به قطر و شکل‌ها مختلف ابزار، عمق برش ۳ میلی‌متر، سرعت پیشروی ابزار ۴۰ میلی‌متر بر ثانیه، سرعت دورانی ۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه، گام عرضی 0.7D

در مرحله آخر، انجام آزمایش‌ها و پـس از مشـخص شـدن نحوه تأثیر هر پارامتر بر زبری سطح، بهینـه‌تـرین حالـت یعنـی استفاده از ابزار دو پر مارپیچ، قطر ۳ میلی‌متـر، سـرعت دورانـی ۲۵۰۰۰ دور بر دقیقه، سرعت پیشروی ۲۰۰۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و گام عرضی 0.3D آزمایش شد و مقدار عددی زبری برابر ۵/۴ میکرومتر برای آن به ثبت رسـید کـه کمتـرین زبـری سـطح در تمامی تست‌ها است.

نتیجه گیری

در این تحقیق، تأثیر شش پارامتر بر روی زبری‌سطح در فراینـد فرزکاری کنترل عددی چوب راش مورد بررسی قـرار گرفـت و نتایج زیر حاصل شد:

۱. با افزایش قطـر ابـزار از ۳ بـه ۴ و ۶ میلـی‌متـر زبـری‌سـطح افزایش می‌یابد. این مسأله برای ابزارهای با شکل لبه متفاوت و نیز سرعت‌های پیشروی و دورانی مختلف، برقرار است.
۲. ابزار با دولبه مارپیچ نسبت به ابزار تـک لبـه مـارپیچ از نظـر زبری سطح کیفیت بهتری ایجاد مـی‌کنـد و منجـر بـه بهبـود شرایط ماشین‌کاری می‌شود.
۳. ابزار با لبه مستقیم برای برشکاری چوب راش مناسب نیست و برای تمامی تست‌ها نسـبت بـه ابزارهـای بـا لبـه مـارپیچ زبری‌سطح نامطلوبتری ارائه می‌دهد.

۴. با افزایش سرعت پیشروی از ۲۰ به ۶۰ میلی‌متر بر دقیقه خصوصا در ابزارهای با قطر بزرگتر، شرایط ماشین‌کاری به سمت ناپایداری می‌گراید و زبری سطح افزایش می‌یابد.
۵. با افزایش سرعت دورانی ار ۱۵۰۰۰ به ۲۵۰۰۰ دور بر دقیقه کاهش زبری سطح مشاهده می‌شود.
۶. با افزایش گام عرضی از 0.3D به 0.7D، اگرچه نرخ برداشت ماده بیشتر می‌شود اما زبری سطح افزایش می‌یابد.
۷. کمترین زبری‌سطح مربوط به ابزار دو پر مارپیچ، قطر ۳ میلی‌متر، سرعت دورانی ۲۵۰۰۰ دور بر دقیقه، سرعت پیشروی ۲۰۰۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و گام عرضی 0.3 قطر ابزار است که مقدار عددی زبری برابر ۵/۴ میکرومتر برای آن به ثبت رسیده است.

تقدیر و تشکر

در پایان از مجموعه عوامل محترم شرکت دانش بنیان ممتاز صنعت همادیس و کارگاه تولیدی آیلارچوب بابت تمامی حمایت‌های مادی و معنوی کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

[1] A. A. Krimpenis, N. A. Fountas, T. Mantziouras, and N. M. Vaxevanidis, "Optimizing CNC wood milling operations with the use of genetic algorithms on CAM software," *Wood Material Science & Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 102-115, 2014. https://doi.org/10.1080/17480272.2014.961959

[2] S. Bharathi Raja, and N. Baskar, "Particle swarm optimization technique for determining optimal machining parameters of different work piece materials in turning operation," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 54, no. 8, pp. 445–463, 2011. https://doi.org/10.1007/s00170-010-2958-y

[3] A. Sutcu, and U. Karagoz, "The influence of process parameters on the surface roughness in aesthetic machining of wooden edge-glued panels (EGPs)," *BioResources*, vol. 8, no. 4, pp. 5435–5448, 2013.

[4] A. A. Krimpenis, and M. Chrysikos, "3D parametric design and CNC manufacturing of custom solid wood electric guitars using CAD/CAM technology," *Wood Material Science & Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 66-80, 2019. https://doi.org/10.1080/17480272.2017.1379035

[5] H. Pelit, M. Korkmaz, and M, Budakç, "Surface roughness of thermally treated wood cut with different parameters in CNC router machine," *BioResources*, vol. 16, no. 3, pp. 5133-5147, 2021.

[6] M. Sedlecký, M. Kvietková, and R. Kminiak, "Medium-density fiberboard (MDF) and edge-glued panels (EGP) after edge milling-surface roughness after machining with different parameters," *BioResources*, vol. 13, no. 1, pp. 2005-2021, 2018.

[7] H. Pelit, and Ö. Yaman, "Influence of processing parameters on the surface roughness of solid wood cut by abrasive water jet," *BioResources*, vol. 15, no. 3, pp. 6135-6148, 2020.

[8] A. Jankowska, "Understanding of surface roughness of wood based on analysis its structure and density," *Annals of WULS Forestry and Wood Technology*, vol. 111, pp. 27-31, 2020. doi: 10.5604/01.3001.0014.6421)

[9] E. Hazir, and K. H. Koc, "Optimization of wood machining parameters in CNC routers: Taguchi orthogonal array based simulated angling algorithm," *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 21, no. 4, pp. 493-510, 2019. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000406

[10] M. Aghakhani, A. Khazaeian, and M. Madhoshi, "Different CNC machining condition of paulownia wood by CNC; Influence on the abbott roughness parameters," *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, vol. 28, no. 2, pp. 301-312, 2013. (In persian). https://doi.org/10.22092/ijwpr.2013.2935